

# 博士學位論文

内容の要旨  
および  
審査結果の要旨

甲 第 17 号

甲 第 18 号

甲 第 19 号

甲 第 20 号

甲 第 21 号

甲 第 22 号

2020年度

東京都市大学

## 序

本編は学位規則（昭和 28 年 4 月 1 日文部省令第 9 号）第 8 条による公表を目的として、2020 年度内に本学において博士の学位を授与した者の、論文内容の要旨および論文審査の結果の要旨を収録したものである。

氏 名 (本籍)	ガウタム バスデブ (ネパール連邦民主共和国)
学 位 の 種 類	博 士 (環境情報学)
学 位 記 番 号	甲 第 17 号
学位授与の日付	2021 年 3 月 19 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文主題	Thermal adaptation of people and buildings in Nepalese cold, temperate and sub-tropical regions (ネパールの冷帯、温帯、亜熱帯地域における居住者と建物の熱的適応に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教授 リジャル ホム バハドゥル 教授 飯島 健太郎 教授 加用 現空 教授 横田 樹広 教授 宿谷 昌則 (東京都市大学 名誉教授)

## 論文内容の要旨

気候的、文化的、地理的な差異は、屋外気候変動に応じた適切な住宅温熱環境の構築に反映される。人々の好む温熱環境は、各地域の気候特性に応じて異なると思われる。さらに、地域によって住居形態や文化も異なり、これには屋外環境条件による熱的不快感を回避するための、いわゆる適応行動なども含まれる。毎年、亜熱帯地域に住むネパール人は夏の極度の暑さに直面する一方で、冷帯地に住む人々は冬の極度の寒さに直面しており、不快感だけでなく病気や死に至るまで様々な問題を引き起こしている。ネパールの特定の場所で実施された熱的快適性調査はいくつかあるが、特に伝統的住宅における適応的熱的快適性については様々な地域で解明する必要がある。温熱環境の好みは、居住者自身の熱履歴にかかわらず、それぞれの気候特性に応じて変化する。

本研究の目的は、寒帯、温帯、亜熱帯地域の住宅の温熱環境の実態を明らかにし、居住者の適応的熱的快適性や冬における居住者の着衣量の調整について明らかにする。また、ネパールの亜熱帯地域に住む地元民と移民が持つ熱履歴を考慮した適応的な熱的快適性についても解明する。

室内の温熱環境と熱的快適性に関する調査を、冷帯・温帯・亜熱帯の 3 つの気候の地域で夏と冬に実施した。熱的快適性調査を通じて合計 427 戸の住宅を調査し、1287 人の回答者からデータが収集した。その内、18 戸の住宅では室内温熱環境を継続的に測定した。

調査対象の全ての住宅の室内気温は、外気温の影響を大きく受けていた。寒冷気候地域では、両方の季節で室温が温帯および亜熱帯気候地域よりも低くなる傾向があった。平均室温は、夏において冷帯で 15.6℃、温帯で 25.7℃、亜熱帯で 29.9℃、冬に寒帯で 10.9℃、温帯で 15.4℃、亜熱帯で 18.4℃であった。室温に地域差や季節差があるのは、窓のサイズや壁の厚さ、使用する材料の熱容量が関係していると思われる。

冬の平均快適グローブ温度は寒帯地域で 13.8℃であり、温帯地域よりも 4.1℃、亜熱帯地域よりも 9.3℃ 低かった。同様に、夏では冷帯地域で 16.6℃であり、温帯地域よりも 10.3℃、亜熱帯地域よりも

14.3℃低かった。また、冬の各地域の平均着衣量は、冷帯で1.63clo、温帯で1.32clo、亜熱帯で1.15cloであった。夏の平均着衣量は、冷地地域で1.4cloであり、温帯よりも0.7cloおよび亜熱帯よりも0.9clo高かった。以上のことから、快適グローブ温度の地域差には着衣調整の差異も関係すると思われる。

地元の人々が許容できる室内グローブ温度の上限は32℃で、移民の人々よりも3℃高かった。室内グローブ温度が31℃未満の条件下では、地元の人々と移民の人々の好まれる温度は異なっていた。さらに、移民の発汗レベルは66%、地元の人々の発汗レベルは26%であり、移民の人々の方が地元の人々よりも発汗を感じる傾向があることを意味している。このことから、地元および移民の人々の熱的履歴は、熱的快適性に影響を与える可能性が非常に高いといえる。従って、適切な構築環境を作成する際には、熱受容性の多様性を考慮することが重要である。

以上のことから、室内温度だけでなく快適温度や着衣量にも地域差や季節差がみられた。また、過去の経験を通じて得られた温熱履歴が人々の熱的な適応性に影響を与える可能性が高い。従って、人々の温熱履歴に基づいて快適な建築環境を構築するための改善策を推進する必要がある。この研究の成果は、温熱環境や熱的快適性のための単一の基準及びガイドラインでは建物を設計することが適切でないことを明らかにした。

## 論文審査の結果の要旨

気候的、文化的、地理的な差異は、屋外気候変動に応じた適切な住宅温熱環境の構築に反映される。人々の好む温熱環境は、各地域の気候特性に応じて異なる。地域によって住居形態や文化も異なり、これには屋外環境条件による熱的不快感を回避するための、いわゆる適応行動なども含まれる。毎年、亜熱帯気候に住むネパール人は夏季の極度の暑さに直面する一方で、冷帯気候に住む人々は冬季の極度の寒さに直面しており、不快感だけでなく病気や死に至るまで様々な問題を引き起こしている。ネパールの特定の場所で実施された温熱環境や熱的快適性に関する研究はいくつかあるが、特に伝統的住宅に着目した研究は少ない。また、居住者の温熱履歴を考慮した適応的熱的快適性に関する研究が皆無である。

本研究の目的は、冷帯、温帯、亜熱帯気候の住宅の温熱環境の実態を明らかにし、居住者の熱的快適性や着衣量の調整について明らかにしている。また、昔から亜熱帯に住む地元の人々と冷帯や温帯から亜熱帯に移住した移民が持つ温熱履歴を考慮した適応的快適性についても明らかにしている。

本論文は 6 章で構成されている。

第 1 章では、本研究の背景、目的と論文の構成について述べている。

第 2 章では、研究方法について述べている。室内の温熱環境と熱的快適性に関する調査を、冷帯・温帯・亜熱帯の 3 つの気候の地域で夏と冬に実施している。熱的快適性調査を通じて合計 427 戸の住宅を調査し、1080 人の回答者からデータが収集している。その内、18 戸の住宅では室内温熱環境を継続的に測定している。

第 3 章では、住宅の温熱環境について述べている。調査対象の全ての住宅の室内気温は、外気温の影響を大きく受けていることを明らかにしている。平均室温は、夏において冷帯で 15.6℃、温帯で 25.7℃、亜熱帯で 29.9℃、冬に冷帯で 10.9℃、温帯で 15.4℃、亜熱帯で 18.4℃であり、室温に地域差や季節差があるのは、窓のサイズや壁の厚さ、使用する材料の熱容量が関係していることを明らかにしている。

第 4 章では、居住者の熱的快適性について述べている。冬の平均快適温度は冷帯で 13.8℃であり、温帯よりも 4.1℃、亜熱帯よりも 9.3℃低いこと、同様に、夏では冷帯で 16.6℃であり、温帯よりも 10.3℃、亜熱帯よりも 14.3℃低いことを明らかにしている。また、冬の各地域の平均着衣量は、冷帯で 1.63 clo、温帯で 1.32 clo、亜熱帯で 1.15clo であり、同様に、夏では平均着衣量は、冷帯で 1.4 clo であり、温帯よりも 0.7clo および亜熱帯よりも 0.9clo 高いことを明らかにしている。以上のことから、快適温度の地域差には着衣調整の差異も関係していると考察している。

第 5 章では、地元の人々と移民の温熱履歴について述べている。地元の人々が許容できる室内グ

ローブ温度の上限値は 32℃で、移民よりも 3℃高いことを明らかにしている。また、移民の発汗レベルは 66%、地元の人々の発汗レベルは 26%であり、移民の方が地元の人々よりも発汗を感じている傾向があることを示している。これらのことから、地元および移民の人々の温熱履歴は、熱的快適性に影響を与える可能性が高いことを示している。従って、適切な温熱環境を構築する際には、温熱履歴を考慮することが重要であることを考察している。

第 6 章では、各章で明らかになったことを要約して結論としている。

以上のことから、室温だけでなく快適温度や着衣量にも地域差や季節差があることを示している。また、過去の経験を通じて得られた温熱履歴が人々の適応的快適性に影響を与える可能性が高いことを明らかにしている。従って、人々の温熱履歴に基づいて快適な建築環境を構築するための改善策を推進する必要があることを示している。

ネパールの住宅の温熱環境及び居住者の快適温度、着衣量などの地域差や季節差を明らかにし、居住者の温熱履歴の差異を示した本論文は、快適な住環境の継続・改善やガイドラインの作成に資するところが大きく、また、建築環境工学の発展に寄与するところが大きいと考えられ、博士（環境情報学）の学位論文に値するものと判断する。

氏 名 (本籍)	ポカレル ティカラム (ネパール連邦民主共和国)
学 位 の 種 類	博 士 (環境情報学)
学 位 記 番 号	甲 第 18 号
学位授与の日付	2021 年 3 月 19 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学 位 論 文 主 題	Energy use, thermal environment and indoor air pollution in different ecological regions in Nepal. (ネパールの異なる気候区におけるエネルギー使用と温熱環境・空気汚染)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教授 リジャル ホム バハドゥル 教授 飯島 健太郎 教授 加用 現空 教授 史 中超 教授 宿谷 昌則 (東京都市大学 名誉教授)

## 論文内容の要旨

エネルギーは日常生活を行うための重要な要素である。建物におけるエネルギー使用量は世界の総エネルギー消費量の 30%以上を占めており、そのうちの 30~60%が建物の室内熱環境の改善に使用されていることが広く認識されている。建物の好ましい温熱環境を作り出すためにはエネルギーの投入を必要とするが、コストが高く、商業用燃料の供給が限られている。そのため、ネパールの農村部の人々の 80%は調理や暖房において薪や農業残渣、動物の糞などの伝統的な燃料に依存している。換気が不十分な建物で従来の燃料を使用すると、人々にとって有害なレベルの室内空気汚染にさらすこととなる。世界保健機関によると、室内空気汚染は特に貧しい人々にとって、世界で最も深刻な大気汚染問題としている。また、住宅を改善することでエネルギー使用や温熱環境、室内空気汚染に大きく影響を与える可能性がある。このことから、ネパールの様々な気候地域の住宅における室内温熱環境とエネルギー使用の現状やその関係についてより定量的な研究を行う必要がある。

ネパールは一人当たりのエネルギー消費量が少ない国の 1 つであり、主に薪使用に依存している。現在のエネルギー使用の状況、温熱環境および CO<sub>2</sub> 排出量を知るために、2018 年の冬季に熱環境およびエネルギー使用に関する調査を行った。

本研究の目的は、ネパールの様々な地域の住宅が、利用可能なエネルギー資源を使用して室内温熱環境の実態を明らかにすることである。また、ネパールの 3 つの地域における様々な燃料使用世帯の不均一なエネルギー使用パターンを知ることを目的とする。さらに、家庭内のエネルギー消費に起因する CO<sub>2</sub> 排出パターンを調査し、従来の混合燃料および商用燃料ユーザーの家庭における LPG および電気による調理用燃料代替の CO<sub>2</sub> 排出削減の可能性を推定することも目的とする。

2018 年の冬季に 3 つの気候地域の 516 世帯にエネルギー使用に関する調査を行った。継続的な室内熱環境測定は各地域の 3 つの住宅で行った。データロガーを使用して、室温、相対湿度、CO<sub>2</sub>

濃度を 10 分間隔で測定した。

室温は、冷帯で 8.0℃、温帯で 13.9℃、亜熱帯地域で 12.8℃、であり、ASHRAE の快適範囲の基準を下回っていた。各地域の室温は外気温に関係がある。

日平均エネルギー消費量はそれぞれ 37、30、20 MJ /人だった。

3 つの地域に住む人々は、主に調理と暖房を薪に依存している。一人当たりの総エネルギー使用量は、冷帯、温帯、亜熱帯地域でそれぞれ 37、30、20 MJ / (1 人日) のであった。25%の世帯はクリーンな調理用燃料を使用せずに、薪のみを利用していた。67%の世帯は調理にクリーンなエネルギーも利用し、8%の世帯のみはクリーンなエネルギーを利用していた。薪を利用する家庭や様々な燃料を使う家庭の調理時間が商用燃料を使用する家庭より長い。

薪の消費量が多いことから、朝と夕方に薪の消費量が多いため、CO<sub>2</sub> 濃度も高い。

薪を利用する家庭や様々な燃料を使う家庭のエネルギー使用量や CO<sub>2</sub> 排出量は商用燃料を使用する家庭より多い。これは改善ストーブの効率が低いためと思われる。CO<sub>2</sub> 排出量は、温帯地域や部亜熱帯地域では高く、冷帯地域で低いことがわかった。

以上のことから、屋外の気候条件が室内の温熱環境に影響を及ぼし、それが家庭のエネルギー使用パターンに関連していることを示した。3 つの気候地域の住宅の建物を改善することは、家庭のエネルギー使用を削減しながら、居住者により良い室内温熱環境を提供することが重要である。

住宅の温熱環境の改善、クリーンな調理用燃料の使用、改善ストーブの導入は、家庭のエネルギー使用が削減でき、それに伴う CO<sub>2</sub> の排出量も削減できる。



## 論文審査の結果の要旨

エネルギーは日常生活を行うため重要である。建物におけるエネルギー使用量は世界の総エネルギー消費量の 30%以上を占めており、そのうちの 30~60%が建物の室内熱環境の改善に使用されていることが広く認識されている。本研究では、ネパールの現在のエネルギー使用の状況・エネルギー使用パターンと温熱環境および CO<sub>2</sub> 排出量を明らかにするために、2018 年の冬季に温熱環境およびエネルギー使用に関する調査を行っている。また、家庭内のエネルギー消費に起因する CO<sub>2</sub> 排出のパターンを分析し、家庭内の調理における LPG および電気による調理用燃料の代替と CO<sub>2</sub> 排出削減の可能性を推定することも目的としている。

本論文は 5 章で構成されている。

第 1 章では、研究背景を述べている。建物の好ましい温熱環境を作り出すためにはエネルギーの投入を必要であるが、コストが高いため商業用燃料の供給が限られていることから、ネパールの農村部の人々の 80%は調理や暖房のために薪、動物の糞などの伝統的な燃料の使用に依存していることを述べている。換気が不十分な建物で従来の燃料を使用すると、人々にとって有害なレベルの室内空気汚染にさらすことを述べている。世界保健機関によると、室内空気汚染は特に貧しい人々にとって、世界で最も深刻な室内汚染問題としていることを述べている。このことから、ネパールの様々な気候地域の住宅における室内温熱環境とエネルギー使用の現状やその関係について定量的な分析を行う必要があることを述べている。

第 2 章では、住宅の室内温熱環境について述べている。本調査は、2018 年の冬季に 3 つの気候地域の 516 世帯で実施している。室内熱環境の測定は各地域の 3 つの住宅において、室温と相対湿度、CO<sub>2</sub> 濃度を 10 分間隔で測定している。室温は、冷帯で 8.0℃、温帯で 13.9℃、亜熱帯地域で 12.8℃であり、どの気候帯であっても ASHRAE の快適範囲の基準よりも低いことを明らかにしている。日平均家庭内エネルギー使用パターンは各地域の屋外気候条件から影響を受けており、冷帯地域ほどエネルギー使用量が多いことを明らかにしている。建築性能を改善することで、室内温熱環境とエネルギー使用量の両方が改善できる可能性を述べている。

第 3 章では、家庭内エネルギー使用について述べている。調査対象地域に住む人々は主に調理と暖房のために薪を使用しており、エネルギー使用量は、冷帯、温帯、亜熱帯地域でそれぞれ 37、30、20 MJ / (人・日)であることを明らかにしている。25%の世帯はクリーンな調理用燃料を使用せずに、薪のみを利用する一方、67%の世帯は調理のために LPG や電力、バイオガスなどのクリーンなエネルギーを併用し、さらに 8%の世帯はクリーンなエネルギーのみを利用していることを明らかにしている。薪の使用量は朝と夕方の時間帯に多くなっていることも明らかにしている。

第 4 章では室内空気汚染について述べている。第 3 章の薪の使用量に対応して、CO<sub>2</sub> 濃度も朝と夕方が高くなることを明らかにしている。薪を利用する家庭では LPG などの商用的な燃料を使用す

る家庭よりも、エネルギー使用量と CO<sub>2</sub> 排出量が多いことを明らかにしている。

第 5 章では、各章で明らかになった結果と対応策について述べている。屋外の気候条件が室内の温熱環境に影響を及ぼし、それが家庭のエネルギー使用パターンに関連していることを示している。3 つの気候地域の住宅を改善することで、家庭のエネルギー使用を削減しながら、居住者に良い室内温熱環境を提供することが重要であると述べている。これには、住宅の温熱環境の改善やクリーンな調理用燃料の使用、改善ストーブの導入によって家庭のエネルギー使用とそれに伴う CO<sub>2</sub> の排出量の削減ができることを述べている。

ネパールでは薪をはじめとした伝統的燃料と商用的な燃料のどちらも一般生活で使用されており、特に伝統的燃料における室内空気汚染は居住者の健康に悪影響を与えている。このようなネパールの複雑な生活文化において、実際の住宅における燃料使用と温熱環境を対象とした研究は十分に行われていなかった。本研究では、ネパールの住宅における燃料使用と温熱・空気環境についてフィールド調査の実施を通して、その実態を明らかにしている。これは、ネパールの住宅における生活環境とエネルギー使用の改善に寄与するところが大きいと考えられ、博士（環境情報学）の学位論文に値するものと判断する。

氏 名 (本籍)	今川 光 (東京)
学 位 の 種 類	博 士 (環境情報学)
学 位 記 番 号	甲 第 19 号
学位授与の日付	2021 年 3 月 19 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学 位 論 文 主 題	住宅における環境調整行動モデルの開発と熱負荷シミュレーションへの導入に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教授 リジャル ホム バハドウル 教授 飯島 健太郎 教授 加用 現空 教授 室田 昌子 教授 宿谷 昌則 (東京都市大学 名誉教授)

## 論文内容の要旨

室外気候変動に対して人々は様々な環境調整行動を行なってその地域や季節に適応をしている。環境調整行動に関する研究は様々挙げられるがその一つに温熱環境を説明変数として環境調整行動の頻度や状態との対応関係を数式で表現する環境調整行動モデルがある。これは国内外で様々な行動を対象に研究がなされている。

従来の環境調整行動モデルは各々の環境調整行動ごとにモデル化がなされている。しかしエアコン使用時には運転効率の観点から窓を閉鎖することを考慮すると環境調整行動選択は相互関係を持つことが考えられる。また従来では環境調整行動の実行時の熱的快適性まで考慮したモデルはみられないため従来にない環境調整行動モデルを開発することにより実態に近い環境調整行動の解明への寄与が考えられる。

また既往研究では建築熱負荷シミュレーションの居住者行動設定に環境調整行動モデルを利用することがあるため新たに開発した環境調整行動モデルを導入することで予測精度の高いシミュレーション実行に寄与できることが見込まれる。

以上の研究背景からフィールド調査のデータを用いて環境調整行動モデルの開発を行ない居住者行動の実態解明を行う。また開発された環境調整行動モデルによる建築熱負荷シミュレーションの精度向上の可能性を検討する。本調査は 2010～2014 年に関東地域の住宅の計 120 世帯で実施した。10 分毎の室内温湿度測定とアンケート用紙を用いた居住者熱的快適性および環境調整行動状態の申告調査を同時実施し計 36154 ケースの申告データを収集した。

エアコン使用と窓開閉の相互関係を基に 窓とエアコン冷暖房のモデル統合を行った。得られた統合モデルから外気温度が 23.6℃の時に最高窓開放割合は 0.52 となった。また 外気温度が 28.9℃では窓開放とエアコン冷房使用の割合が同等となり 28.9℃より低いと窓開放の方が 28.9℃より高いとエアコン冷房使用の方が割合が高いことが明らかとなった。さらに扇風機は単独使用よりも窓開放やエアコン冷房と併用する頻度の方が多いことが明らかとなった。これらの知見から窓開閉・エアコン冷暖房・扇風機使用の行動をひとつの図中で表現できる統合モデルが

開発できた。

年間変動を取り扱う環境調整行動モデルでは春と秋の外気温帯は同等であるが「冬から気温上昇する春」と「夏から気温低下する秋」では居住者の体感とそれに応じた環境調整行動の選択傾向は異なると考えられる。そこで季節に応じた環境調整行動の実態を解明し環境調整行動モデルへの含有の必要性を検討した。各季節で窓・エアコン冷暖房モデルを比較したところエアコン暖房は春季の方が多くエアコン冷房は秋季の方が多い傾向であった。

環境調整行動状態と同時に申告された熱的快適性を用いて過度なエアコン使用のモデル化を行った。得られたモデルから過度な暖房使用は1%未満過度なエアコン冷房使用は4%に達することが分かった。

開発した窓・エアコン統合モデルから外気温が20.7℃以下で窓閉鎖20.8～28.8℃で窓開放28.9℃以上でエアコン冷房使用となる制御設定が考案できた。この設定を1時間毎の外気温に適用すると各月に応じた窓開放とエアコン冷房の切り替え制御が得られたと同時に春・秋の行動選択性の重要性が示唆された。以上のことから環境調整行動モデルを新たに開発したことで居住者行動の解明に寄与でき室内温度やエネルギー使用の予測に寄与できることを明らかにした。

## 論文審査の結果の要旨

室外気候変動に対して、人々は様々な環境調整行動を行なって、その地域や季節に適応している。環境調整行動に関する研究は様々挙げられるが、その一つに、温熱環境を説明変数として環境調整行動の頻度や状態との対応関係を数式で表現する、環境調整行動モデルがある。これは国内外で様々な行動を対象に研究がなされている。従来の環境調整行動モデルは各々の環境調整行動ごとにモデル化がなされている。しかし、エアコン使用時には運転効率の観点から窓を閉鎖することを考慮すると、環境調整行動選択は相互関係を持つことが考えられる。また、従来では環境調整行動の実行時の熱的快適性まで考慮したモデルはみられないため、従来にない環境調整行動モデルを開発することにより、実態に近い環境調整行動の解明への寄与が考えられる。

また、既往研究では建築熱負荷シミュレーションの居住者行動設定に環境調整行動モデルを利用することがあるため、新たに開発した環境調整行動モデルを導入することで、予測精度の高いシミュレーション実行に寄与できることが見込まれる。

以上のことから、本研究ではフィールド調査のデータを用いて、環境調整行動の相互関係性や熱的快適性を考慮した環境調整行動モデルの開発を行ない、居住者行動の実態解明を行っている。また、開発された環境調整行動モデルを基と外気温測定値を用いて、居住者行動の再現可能性を検討している。

本論文は7章で構成されている。

第1章では、研究背景を述べている。人間は大きな季節変動の中で生理的・心理的・行動的に適応をして、不快を避けながら過ごしている。行動的適応である環境調整行動に関する研究はこれまでも多く行われてきたが、環境調整行動選択の相互関係性や行動時の熱的快適性を反映した環境調整行動モデルは十分に研究されていない。環境調整行動の研究は居住実態の解明だけでなく、建築熱負荷シミュレーションや空調自動制御の設定資料として役立つことから、住宅設計においても役に立つことが見込まれる。

第2章では、研究方法を述べている。本研究で用いたデータは、2010~2014年に関東地域の住宅の計120世帯で実施したフィールド調査から得られたデータである。10分ごとの室内温湿度測定と、アンケート用紙を用いた居住者熱的快適性および環境調整行動状態の申告調査を同時実施し、計36154ケースの申告データを収集している。外気温は気象庁が公開している10分ごとの測定データを用いていた。環境調整行動モデルにはロジスティック関数を用いて算出している。

第3章では、環境調整行動選択の相互関係性を基に、窓開閉とエアコン冷暖房、扇風機の統合モデルを開発している。得られた統合モデルから、外気温度が23.6℃の時に最高窓開放割合は0.52となっている。また、外気温度が28.9℃では窓開放とエアコン冷房使用の割合が同等となり、28.9℃より低いと窓開放の方が、28.9℃より高いとエアコン冷房使用の方が割合が高いことが明らかにしている。さらに、扇風機は単独使用よりも窓開放やエアコン冷房と併用する頻度の方が多いたことが明らかにしている。

第4章では、季節遷移を考慮した環境調整行動モデルを用いて、環境調整行動の実態を解明している。年間変動を取り扱う環境調整行動モデルでは春と秋の外気温帯は同等であるが、「冬から気温上昇する春」と「夏から気温低下する秋」では居住者の体感とそれに応じた環境調整行動の選択傾向は異なると考えられる。このように季節に応じた環境調整行動の実態を解明して、環境調整行動モデルへの含有の必要性を検討している。各季節で窓・エアコン冷暖房モデルを比較し、エアコン暖房は春季の方が多く、エアコン冷房は秋季の方が多い傾向を示している。また、各月の環境調整行動割合を算出し、窓開放とエアコン冷房使用について、同等の月平均外気温であっても季節差があることを示している。

第5章では、寒暑感を考慮したエアコン冷暖房モデルを開発している。得られたモデルから、過度な暖房使用は1%未満、過度なエアコン冷房使用は4%に達することを明らかにしている。

第6章では、第3章で開発した環境調整行動統合モデルと気象庁が公開する1時間ごとの外気温測定値を用いて、環境調整行動を再現している。環境調整行動の統合モデルから、外気温が20.7℃以下で窓閉鎖、20.8～28.8℃で窓開放、28.9℃以上でエアコン冷房使用となる制御設定が考案されている。この設定を1時間毎の外気温に適用すると、各月に応じた窓開放とエアコン冷房の切り替え制御が得られている。ただし、夜間に窓開放とエアコン冷房が1時間ごとに切り替わる行動が発生しているため、時刻に応じた環境調整行動設定も追加することで、より現実的な環境調整行動を再現できることを示している。

第7章では、各章で明らかになったこと及び将来性について要約して総括としている。

日本の住宅において多く普及している窓やエアコン、扇風機の環境調整行動モデルを開発した本論文は、環境調整行動の研究に新たなアプローチとして影響を与え、環境調整行動の解明に役立つ。また、開発された環境調整行動モデルを使用することで、居住者自身が様々な環境調整行動を選択する適応的に生活を行動設定として反映できる。これらは、建築環境学の発展に寄与するところが大きいと考えられ、博士（環境情報学）の学位論文に値するものと判断する。

氏 名 (本籍)	カーコー セリム (フランス共和国)
学 位 の 種 類	博 士 (環境情報学)
学 位 記 番 号	甲 第 20 号
学位授与の日付	2021 年 3 月 19 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学 位 論 文 主 題	Development of Regionalized Life Cycle Impact Assessment Method for African Countries (アフリカ諸国を対象としたライフサイクル影響評価手法の開発)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教授 伊坪 徳宏 教授 大塚 善樹 教授 古川 柳蔵 教授 岡田 啓 教授 稲葉 敦 (日本 LCA 推進機構理事長、元工学院大学教授)

## 論文内容の要旨

2017 年に発表された国連の予測によれば、現在 12 億人いるアフリカの人口は 2050 年には 25 億人に達する可能性があり、4 億人を超えるナイジェリアでは 2050 年には世界第 3 位の人口になると予測されている。経済面では、2017 年に発表された PWC のレポートによると、2050 年にはアフリカの 3 カ国が世界上位 30 位以内の経済大国になるとされている。

アフリカ地域の急激な人口増加と経済成長は、当該地域における環境に多大な影響を与えることは疑いない。2013 年の国連環境計画(UNEP) 報告書によれば、大気汚染、水不足、ヒトの健康影響、土地利用の劣化など複数の環境問題が既に起きている。WHO(2018 年)によると、アフリカで大気汚染が原因で年間 100 万人以上の死者が発生している。

製品やサービスの環境影響を定量的に評価する手法のひとつであるライフサイクルアセスメント(LCA)はすでに国際的に活用される段階にあるが、その多くは欧州、米国、日本を中心とした先進国であり、特にアフリカにおける評価事例は極めて限定的である(Bjorn et al 2013)。世界の地域的な条件を反映した分析に注目が高まっている現状であっても、アフリカの環境条件を考慮した評価手法はほとんどない。

LCA は NO<sub>x</sub> や SO<sub>2</sub> といった環境負荷量を算定するインベントリ分析とこれらの排出による環境影響を評価する影響評価に分かれる。世界の環境条件を反映した影響評価手法には主に欧州の研究機関が中心に開発した Recipe2016 と日本が中心に開発した LIME3 がある。これらの評価手法はアフリカの環境条件を考慮するものの、空間的分解能に大きな問題がある。大気汚染の被害評価においては、54 カ国あるアフリカを Recipe では 6 地域に、LIME3 では 2 地域に分解するに留まり、評価結果の不確実性が大きい問題がある。そこで、本研究では、空間的分解能を向上した評価モデルを活用してアフリカ諸国の大気汚染に関する影響評価手法を開発することで、同地域における LCA の

個顯性向上に寄与することを目的とした。

本論文は六章で構成される。

第一章では、大気汚染の年間での被害について紹介。アフリカにおける環境負荷の違いを詳述している。また、LCA の地域化の重要性についても説明している。

第二章では、本論文の研究計画は、以下 3 つのポイント（第三章～第五章）に基づいている。第三章では、アフリカ地域を対象としたライフサイクル影響評価手法の開発方法とその結果について示した。評価指標としては、Recipe2016 や LIME3 が健康影響を評価する指標として採用し、かつ、気候変動や水消費といった他の影響領域との関係を比較することができる障害調整寿命年 (DALY) を採用した。評価対象物質は、先行研究と同様、BCOC、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub> を対象とした。また、本研究ではアフリカ地域を 20 に区分して大幅に分解能を向上した分析を行うこととした。

世界規模化学輸送モデル(MIROC)を用いて、上記 4 物質の排出量が増加した場合の各国・地域における PM<sub>2.5</sub> 濃度の上昇を分析した(第三章)。その後、WHO が提供する最新の世界保健推計値を用いて、アフリカの人々への健康被害量を評価した。人口密度の高いナイジェリアとエジプトでは大気汚染の被害が特に大きく、被害係数は平均に比べ 3 倍大きいことがわかった。

この結果を MRIO（多地域間産業連関分析）によるインベントリデータに適用して、アフリカ地域の影響評価を行った(第四章)。その結果、アフリカ全体で大気汚染による健康損失は 2300 万 DALYs で、なかでも農業部門と輸送部門による影響が特に大きく、全体の 6 割を占めた。先進国では農業の影響は小さいが、アフリカ地域では伝統的に焼畑農法が採用されるためにその割合が高くなった。

LCA はインベントリデータが得られることを条件に影響評価を行うことができる柔軟性が魅力の一つである。2020 年は新型コロナウイルスにより経済活動が大きく変容した。第五章では、事例研究の一環として COVID-19 と大気汚染との関係について評価した。アフリカ地域では、感染爆発により人間活動が停滞した結果、2020 年の大気汚染の健康影響は 600 万 DALYs であり、例年に比べて 25% 削減されたことが分かった。本研究による成果は健康と経済のバランスを検証するための有用な情報を提示する可能性を見出すものと考えられる。



# 論文審査の結果の要旨

製品やサービスのライフサイクルに渡る環境影響を定量的に評価する手法のひとつである LCA (Life Cycle Assessment) は、1997 年に評価手順が国際規格化 (ISO14040) されて以降、急速に普及してきた。一方で、その活用の多くは欧州、米国、日本を中心とした先進国であり、近年は東南アジアや南米においても評価例が見られるものの、アフリカにおける評価例は極めて限定的であった。その理由のひとつはアフリカの環境条件に対応した影響評価手法が存在しないことにある。世界の異なる環境条件を反映した分析の重要性が高まる現状においても、地理的な解像度が粗く信頼性が低かった。

そこで、本研究では空間的分解能を向上した評価モデルを活用したアフリカ諸国の大気汚染に関する影響評価手法を開発して、同地域における LCA の信頼性向上と活用の促進に寄与することを目的とした。さらに、本研究成果を活用して、国際貿易を考慮したアフリカ各国におけるライフサイクル影響評価と COVID-19 による行動制限が大気汚染に与えた影響について評価を行い、本手法の利用可能性について考察した。

本論文は以下の六章で構成される。

第一章では、序論としてアフリカ地域における大気汚染の現状について紹介するとともに、LCA の利用動向について整理した。アフリカ地域においてはエジプトや南アフリカなど一部の国では LCA の事例研究が実施されているものの多くの国では未実施であり、環境マネジメントを実践するための評価枠組を早期に構築して同地域における環境影響を低減するための情報基盤の整備が必要であることが確認された。

第二章では、本研究の目的が述べられている。

第三章では、アフリカ地域を対象とした大気汚染の影響評価手法の開発方法とその結果について示された。世界規模で越境大気汚染を高解像度で分析できるモデル (MIROC-CHASER) を用いて、大気汚染物質 (有機炭素・黒色炭素、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>) の排出増加による PM<sub>2.5</sub> 濃度の増分を地域ごとに解析した。従来の手法では 2~5 地域を対象としていたところを本研究では 20 地域に区分することで大幅に地域分解能を向上させることに成功した。人口密度の高いナイジェリアやエジプトの被害係数は従来のものよりも 3 倍程度大きく、同地域を対象とした LCA の信頼性向上に寄与することができた。さらに、タンザニア、ケニア、ナミビアなど複数の地域では国外への影響が相対的に大きかったことから、越境大気汚染による影響を加算することで、従来の方法に対して被害量の過小評価を回避することができた。

第四章では、本研究より得られた影響評価手法を MRIO (多地域間産業連関分析) によるインベントリデータに適用して、アフリカ地域の影響評価を行った。その結果、アフリカ全体の大気汚染による健康損失はおよそ 2,300 万年に相当し、その要因としては農業と輸送による影響が特に大きく全体の 6 割程度を占めることが分かった。また、ガーナを除く多くの国は国際貿易による影響は小さく、自国で消費する財を生産する際の環境影響が大きかった。これは、工場や自動車に

よる影響が大きく、かつ、貿易を通して相手国に強い影響を与える先進国とは大きく異なるものであった。当該地域の健康影響の改善には伝統的な焼畑農法を見直すことと、輸送機器の環境装置を設置することが特に重要であることが示唆された。

第五章では、事例研究の一環として COVID-19 による移動制限と大気汚染の関係について定量的に評価した。感染拡大による人間活動の制限により、2020 年の大気汚染の健康影響はおよそ 3 割程度削減したことがわかった。これは感染症対策の間接的な影響を具体的に示す有用な知見であると言える。

第六章では、各章で得られた知見を総括し、今後の課題について言及した。

以上をまとめると、本研究は地球規模の化学輸送モデルと健康指標を駆使して、アフリカ地域を詳細に分割した LCA の影響評価手法を開発し、同地域における国際貿易や COVID-19 対策による間接的な影響を定量的に分析したものである。従来の評価手法に対してその地域分解能を格段に改善することで、人口密度や年齢層の違いを適切に反映し、健康影響をより高い精度で評価することが可能となった。さらに、国際産業連関表を用いた分析を通して、アフリカ地域における健康影響の主要因を明確にして、効果的な環境政策の導入に資する情報を示した。途上国における環境問題を対象に最新のモデルに基づく科学的な情報提供とその活用促進に貢献した本研究論文は、ライフサイクル影響評価手法の発展に寄与するところが極めて大きいと考えられ、博士（環境情報学）の学位論文に値するものと判断する。

氏 名（本籍）	北村 祐介（神奈川）
学 位 の 種 類	博 士（環境情報学）
学 位 記 番 号	甲 第 21 号
学位授与の日付	2021 年 3 月 19 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文主題	観光 MICE におけるライフサイクル持続可能性評価手法の開発と適用
論文審査委員	（主査） 教授 伊坪 徳宏 教授 馬場 健司 教授 佐藤 真久 教授 木村 眞実 教授 稲葉 敦（日本 LCA 推進機構理事長、元工学院大学教授）

## 論文内容の要旨

国連世界観光機関（UNWTO）によると、毎年約 14 億人が世界中を旅している。パリ協定は、2015 年に 195 の国連加盟国の合意とともに採択された。国連環境計画（UNEP）は、産業革命前の平均気温から 1.5℃上昇以内に抑えるためには、今後数十年で世界の温室効果ガス（GHG）排出量を毎年 7.6%削減する必要性を報告している。

2017 年は「国際開発のための持続可能な観光の年」が指定され、資源の有効活用と気候変動への影響がもたらす課題意識を高めることに寄与する観光の役割が重要であることが示された。しかし、持続可能な観光の評価に関する算定方法や評価範囲、データの活用等の具体的な方法は示されていない。

日本政府は、2020 年 10 月 26 日に「温暖化ガスの排出量を 2050 年に実質ゼロにする」という目標を示した。これにより、観光業を含む、日本の産業は大きな転換を求められる。

これまで観光に関するライフサイクルアセスメント（LCA）は、個別のツアーや宿泊施設などに限評価が多かった。しかし、日本国内の観光産業を対象とした事例は少なく、また、ビジネスツーリズム（MICE：ミーティング（M）、インセンティブツアー（I）、コンベンション（C）、展示会及びイベント（E）等）を対象とした事例は見られない。観光業を対象とした気候変動政策の推進のため、産業全体を網羅したライフサイクル評価が不可欠であり、観光業を対象に分析するためのデータセットの開発が必要である。2020 年の新型コロナウイルス（COVID-19）により、観光業は大打撃を受けた。本研究成果の活用により、急激な社会変化に伴う経済・環境・社会への影響の分析ができるものと考えら、従来の環境評価から経済・社会への影響を含める方法へと展開し、汎用性の高い評価手法を目指す。

本研究では、評価を通じて、観光に関するライフサイクル全体を網羅的に評価し、様々な観光形態に対応した評価方法を開発。日本の観光産業の持続可能性評価（経済・環境・社会評価）を行う。評価手法は、第 2 章で示す LCA 評価手法を用いる。特に本研究は、評価範囲の広い産業を

対象とすることから産業連関表を活用した Input-Output LCA を用いて、観光サテライト勘定(TSA)を活用した、評価を実施。

第3章では「日本の観光産業を対象としたカーボンフットプリント（CFP）評価」を実施。訪日旅行、国内旅行（宿泊・日帰り）、海外旅行を含めて評価した。観光産業を構成するカテゴリー（移動、宿泊、飲食、お土産、アクティビティ等）ごとの内訳を定量的に示した。この結果から移動に加え、お土産の負荷も高いことが示された。

第4章では「MICE セクターを対象とした CFP 評価」を実施。各 MICE イベントを MICE の消費額調査結果（観光庁）を活用して CFP を算出し、定量化した。この結果から、主催者の移動、宿泊、飲食の負荷が高く、海外参加者の買い物の負荷、出展者の輸送の負荷が高いことが示された。

第5章では「COVID-19 による観光産業への経済・環境・社会影響の評価」を実施。2020 年に発生した COVID-19 による観光産業への影響を分析。第3章の評価結果（2017 年）から 2020 年の年間消費額を推計。経済評価は消費額、環境評価は CFP、社会評価は雇用者数を求め、損失・削減量を定量的に示した。消費額と雇用者数はここ 10 年の中で最も状況が悪化した一方で GHG 排出量は改善したことが明確となった。

本研究を通じて、観光の各産業部門の特徴を反映した CFP 係数リストを開発。これらの CFP 係数リストを基に、イベント産業の評価を MICE へ拡張した。さらに、社会情勢を反映した産業評価（COVID-19 による影響の可視化）を実施し、持続可能性評価の基盤（観光に関する経済統計の活用及び CFP 係数リストに加え、雇用係数リスト）を整備。本研究では、消費額の取得により経済・環境・社会を包括的に評価できる手順を明確化し、月次の統計を反映できる簡便かつ速報性のある評価を可能とした。

今後、観光業は経済が回復に転じた際に、さらなる観光需要が喚起される可能性も想定する必要がある、この短期間に改善した GHG 排出量を維持しながら、さらなる GHG 排出削減が求められる。観光については、移動を抑えた新しい観光の形態の拡大、観光客の消費構成をモノ消費から体験重視のコト消費へシフトさせることで、GHG 排出の削減が見込まれる。MICE は、参加者の移動を抑えた開催地選択（中間地での開催、オンラインの併用等）の他、環境配慮した宿泊施設やお土産品の利用・購入、出展者に輸送量を抑える出展ブース計画、配布物のデジタル化等の対応を求める必要がある。

現状では、観光の LCA は外部の専門家が実施するケースが多く、評価結果に基づく対応策が観光業の現場にフィードバックされていない。今後は、ライフサイクル全体を考慮した持続可能性に向けた取組みを、観光に関連する事業者、業界団体、研究組織、大学などが一体となって実施することがさらに重要となる。

## 論文審査の結果の要旨

世界の観光に関する温室効果ガスの排出量は、直接・間接含めると全体のおよそ 1 割を占めている (Lenzen ら 2018)。観光業を対象とした気候変動の緩和策を推進するためには、サプライチェーンを含む網羅性の高いライフサイクル評価が不可欠であるが現在その利用は十分でない。その理由のひとつは様々な観光のスタイルに応じて分析できるデータベースの開発が不足していることにある。本研究では、観光業のサテライト勘定と産業連関表を融合して、観光業において消費される財やサービスについて分析することを可能とするインベントリデータベースを開発し、事例研究を通してその有用性を検証したものである。

本論文は以下の五章で構成される。

第一章では序論として、国内外における観光業における現状について整理した。国連および各国では持続可能性の観点から観光のガイドラインを策定する一方で、観光業におけるサステナビリティ評価を定量的に実践する手法やデータベースはほとんどなく、社会的要請に応えられていないことが認識された。

第二章では、研究目的と研究方法の概要について述べた。

第三章では、日本の観光産業を対象としたカーボンフットプリント評価を行うために開発したインベントリデータベースについて示した。移動、宿泊、買物など、評価項目が多岐に渡ることから産業連関表を活用し、かつ、観光業に特化して消費額が明示されている観光サテライト勘定 (TSA) の統計データを統合する形で分析用のデータベースを開発した。得られた成果を用いて観光業全体を対象に分析した結果、CO<sub>2</sub> 排出量は 1.36 億トンで日本全体の排出量のおよそ 1 割を占めることがわかった。そのうち移動が半分を占め、土産が 2 割、宿泊・食事・アクティビティで 2 割を占めており、網羅的な観点から分析することの重要性が確認された。さらに、訪日旅行、国内旅行、海外旅行を対象に分析を行うとともに、それぞれの特徴について考察を行い、旅行タイプにより効果的な気候変動対策が異なることが示された点は新規性に富む成果であると言える。

第四章では、ビジネスツーリズムとして MICE(会議、インセンティブツアー、コンベンション、イベント)セクターを対象としたカーボンフットプリントの結果について示した。会議では国内移動・宿泊・土産が、インセンティブツアーでは国際便の利用が、コンベンションでは航空・海運・宿泊・食事が、イベントでは交通機関に加えて印刷・装飾・食事に関する寄与が大きかった。MICE セクターのカーボンフットプリントの特徴を把握するとともに、様々な観光や行事を対象にトップダウン的なアプローチから観光業のカーボンマネジメントを実践するのに本研究の成果が有効であることが確認された。

第五章では、本研究で開発したデータベースを駆使して、2020 年における観光業のカーボンフットプリントの変化について評価した。COVID-19 の感染対策による移動制限を通して、観光産業のカーボンフットプリントは 2019 年に対して最大で 6 割 (約 9,000 万トン) 低減した。その削減量

の内訳は、交通機関が最大で、土産・買物、宿泊、食品・飲料がこれに次いで大きかった。さらに、その分析は経済、雇用についても拡張して行われ、最大で 270 万人、20 兆円の消失に相当するものと推定された。現在最も社会的関心の高い問題に注目して、環境・社会・経済の三側面について網羅的に分析することで、応用性の優れた研究成果を示した。

第六章ではまとめとして、本研究の成果を総括した。

以上をまとめると、本研究は産業連関分析と観光サテライト勘定を駆使して、観光業を対象にカーボンフットプリントを実施するためのデータベースを開発し、日本のビジネスツーリズムや COVID-19 による観光業への影響についてライフサイクルの視点から定量的に分析したものである。訪日、国内、海外旅行を対象に、交通、宿泊、食事、買物など多岐に渡る評価項目を網羅することで、観光の特徴を適切に反映し、カーボンフットプリントをより幅広い範囲で評価することが可能となった。さらに、COVID-19 による移動制限等による効果に関する評価では、産業連関表の特徴を活かして環境側面に加えて、GDP や雇用への影響を含めたことで、持続可能性に注目した拡張性の高い方法を示すことに成功した。観光業に関する影響をより網羅的に、かつ、簡便に評価することを可能にすることに貢献した本研究論文は、ライフサイクル影響評価手法の発展に寄与するところが極めて大きいと考えられ、博士（環境情報学）の学位論文に値するものと判断する。

氏 名 (本籍)	サヒ ディネス クマル (ネパール連邦民主共和国)
学 位 の 種 類	博 士 (環境情報学)
学 位 記 番 号	甲 第 22 号
学位授与の日付	2021 年 3 月 19 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文主題	Thermal improvement of Nepalese houses based on the evaluation of energy use and adaptive comfort (エネルギー使用と適応的快適性の評価に基づくネパールの住宅の温熱環境の改善)
論文審査委員	(主査) 教授 リジャル ホム バハドゥル 教授 加用 現空 教授 伊坪 徳宏 教授 丹羽 由佳理 教授 宿谷 昌則 (東京都市大学 名誉教授)

## 論文内容の要旨

一定の生活水準を確保するためには、エネルギーの使用が必要である。家庭における合理的なエネルギー使用は、個人の生活環境を改善するだけでなく、国の経済成長にとっても重要である。現在のエネルギー政策のシナリオは、我々が現在のような生活を継続するならば、エネルギー需要は毎年 1.3%増加するといわれている。全世界のエネルギーの約 40%が建築部門で使用されており、人間の生活を損なわない合理的な政策を模索することが重要である。ネパールの家庭は他の国に比べてエネルギー使用量が少ない。居住者は薪燃焼など伝統的な方法に基づいて室内温熱環境を調整している。ネパールでは、これまでに多くの研究者が薪、化石燃料、バイオマス、電気、太陽光発電など全体的なエネルギー使用に関する研究を行ってきたが、特に家庭部門に関する研究は殆ど行っていない。一部の研究者は、現在の室内温熱環境、熱的快適性と温熱環境の改善のいずれかについて研究を行っているが、総合的に着目した研究がみられない。従って、エネルギー使用、居住者の熱的快適性、住宅の温熱環境の改善について研究を行う必要がある。

本研究の目的は、現在のエネルギー使用の実態把握、居住者の快適温度の解明、住宅の温熱環境の改善策を示すことである。そのため、ネパールの冷帯、温帯、亜熱帯地域における冬季に 442 世帯からデータを収集した。主な収集データは電気代、収入、家族の規模、電化製品の数、照明、調理器具、冷暖房のエネルギー使用量などである。室内の温熱環境は 3 つの気候地域で測定し、839 の温冷感申告を収集した。

データを分析した結果、薪の消費率は、農村地域で 2.08GJ / 世帯/月であり、他の開発途上国より高い。ネパールの全地域の平均電力使用量は 2.06GJ / 世帯/年であり、他の開発途上国や先進国より低い。電気は農村部では主に照明に使用されているが、都市部などでは電化製品にも使用されている。電気使用量は、家庭の代表者の社会的経済的な要因に関連していた。

各地域の室内グローブ温度が下がると、寒い側の申告の割合が増加する。平均快適温度は、冷帯、温帯、亜熱帯地域でそれぞれ 17.2 °C、20.9 °C、21.7 °C であり、快適温度に地域差が大きい。冷帯、温帯、亜熱帯地域の平均室温は 10.9°C、18°C、20°C であり、平均快適温度よりもそれぞれ 6.3°C、2.9°C、2°C 低かった。

冷帯地の室内グローブ温度は快適温度よりも低いことから、熱的快適性を実現するために気温を上げる必要がある。単純な熱収支モデルに基づいて断熱・気密化を行って室温を予測すると、室温が 1.1~1.8°C 上昇することが分かった。これは 10~20% の省エネルギーに相当する。

以上のことから、農村部の世帯では多くの薪を使用しており、ネパールの電力使用率は世界で最も低いことが分かった。電化製品の利用もかなり低い実態が明らかになった。冷帯地の居住者現在の室温に満足していないことから、断熱・気密化は室温上昇に効果的である。本研究の成果は、ネパールの住宅で快適な室内熱環境を実現し、エネルギー消費の少ない住宅を設計するのに役立つと思われる。



## 論文審査の結果の要旨

全世界のエネルギーの約 40%が建築部門で使用されており、人間の生活を損なわない合理的な政策を模索することが重要である。ネパールの家庭は他の国に比べてエネルギー使用量が少なく、居住者は薪燃焼など伝統的な方法に基づいて室内温熱環境を調整している。ネパールでは、これまでに多くの研究者が薪、化石燃料、バイオマス、電気、太陽光発電など全体的なエネルギー使用に関する研究を行ってきたが、特に家庭部門に関する研究は殆ど行われていない。一部の研究者は、現在の室内温熱環境、熱的快適性と温熱環境の改善のいずれかについて研究を行っているが、総合的に着目した研究がみられないことから、エネルギー使用、居住者の熱的快適性、住宅の温熱環境の改善に関する研究は重要である。

本研究の目的は、ネパールの住宅におけるエネルギー使用や温熱環境の実態把握、居住者の快適温度や好まれる温度の解明、住宅の温熱環境の改善方法などである。

本論文は 8 章で構成されている。

第 1 章では、本研究の背景、目的と論文の構成について述べている。

第 2 章では、文献調査について詳細に述べて本研究の位置づけを行っている。

第 3 章では、研究方法について述べている。冷帯、温帯、亜熱帯地域における冬季に 442 世帯から主に電気代、収入、家族構成、電化製品の数、照明、調理器具、冷暖房のエネルギー使用量などを収集している。室内の温熱環境は 3 つの気候地域で測定し、839 の温冷感申告を収集している。

第 4 章では、エネルギー使用について述べている。薪の消費量は、農村地域で 2.08GJ / 世帯/月であり、他の開発途上国より高いことを明らかにしている。ネパールの全地域の平均電力使用量は 2.06GJ / 世帯/年であり、他の開発途上国や先進国より低いことを示している。電力使用量は、家庭の経済や教育のレベルに正の相関関係があり、今後、先進国と同様に国の経済や教育のレベルが向上すれば、負の相関関係になる可能性がある。

第 5 章では、居住者の熱的快適性について述べている。各地域の室内グローブ温度が下がると、寒い側の申告の割合が増加することを明らかにしている。平均快適温度は、冷帯、温帯、亜熱帯地域でそれぞれ 17.2 °C、20.9 °C、21.7 °Cであり、快適温度に地域差が大きいことを示している。

第 6 章では、住宅の温熱環境について述べている。冷帯、温帯、亜熱帯地域の平均室温は 10.9°C、18°C、20°C であり、平均快適温度よりもそれぞれ 6.3°C、2.9°C、2°C 低いことから、熱的快適性を実現するために室温を上げる必要があることを考察している。

第7章では、住宅の温熱環境改善について述べている。単純な熱収支モデルに基づいて断熱・気密化を行って室温を予測すると、室温が基本モデルより 1.1~1.8℃上昇し、これは 10~20%の省エネルギーに相当すると明らかにしている。

第8章では、各章で明らかになったことを要約して結論としている。

以上のことから、農村部の世帯では多くの薪を使用しており、ネパールの電力使用率は世界で最も低いことを示している。電化製品の利用もかなり低い実態が明らかにしている。冷帯地の居住者は現在の室温に満足していないことから、断熱・気密化は室温上昇に効果的であることを示している。

ネパールの住宅のエネルギー使用・温熱環境、居住者の快適温度などの地域差を明らかにし、断熱・気密化による室内温熱環境の改善を示した本論文は、住宅で快適な室内熱環境を実現し、エネルギー使用の少ない住宅計画に資するところが大きく、また、建築環境工学の発展に寄与するところが大きいと考えられ、博士（環境情報学）の学位論文に値するものと判断する。